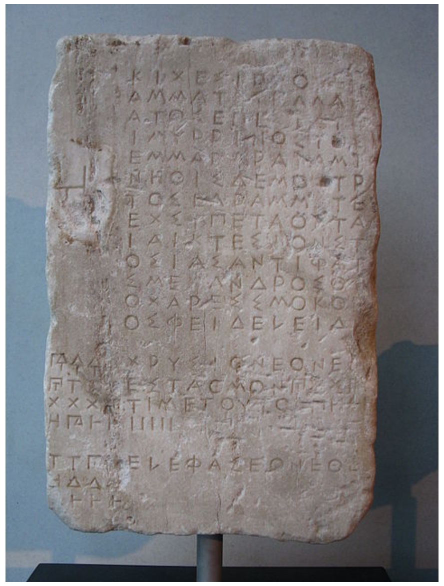
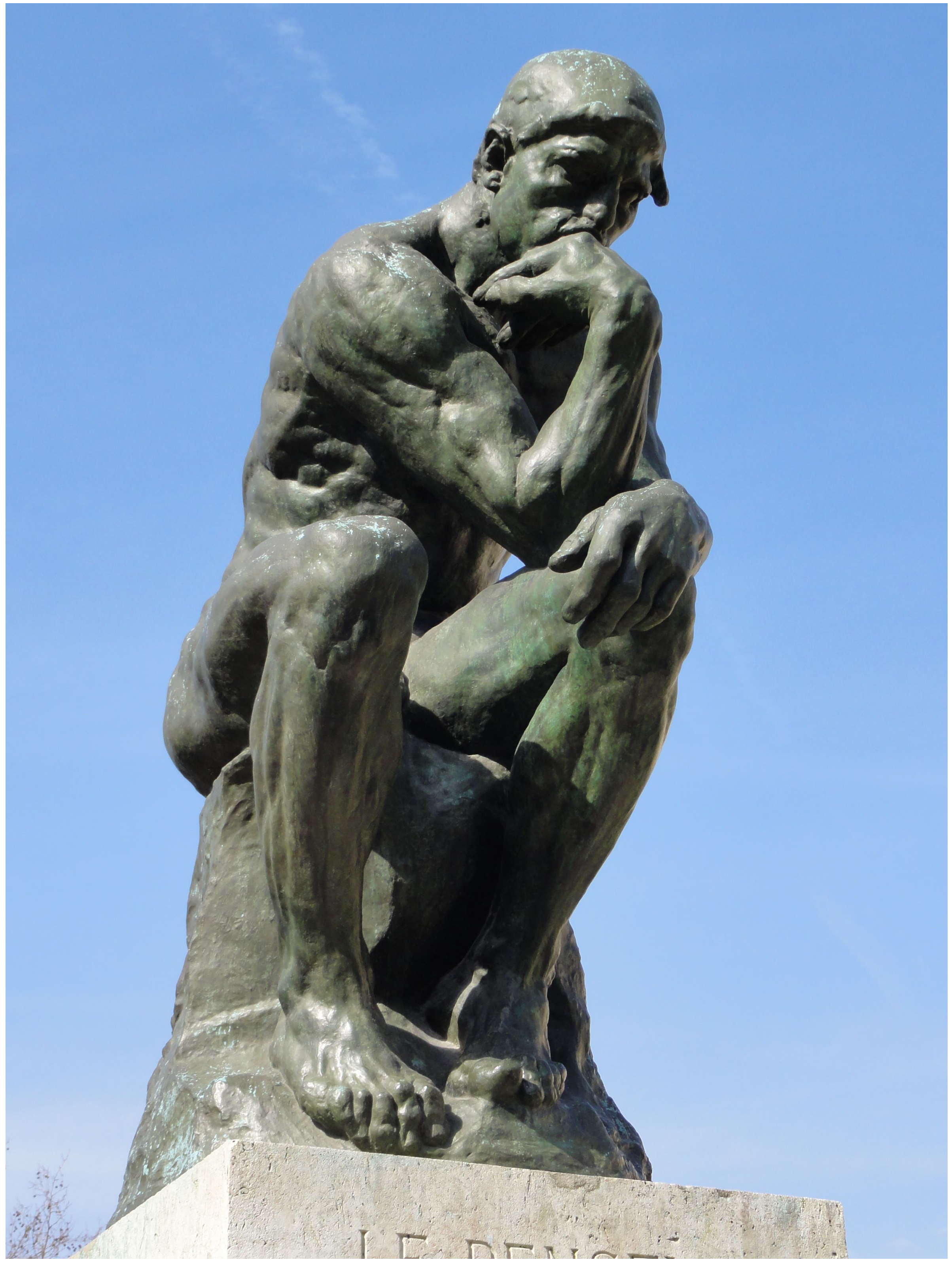
Fundamentos da Física

Física I - Módulo I - Noções Básicas

O que é Física ?

$\varphi\acute{\upsilon}\sigma\iota\varsigma$ = NATUREZA



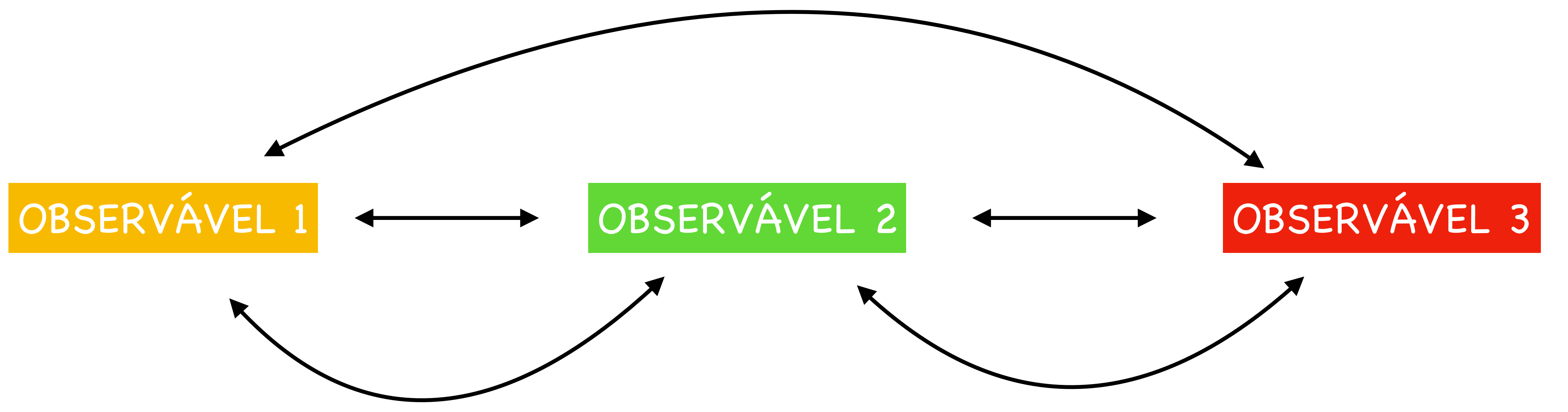


Ciência que Estuda a Natureza

OBJETIVO BÁSICO

Compreender a Natureza em todas as suas Escalas

Como a Física faz isso ?



buscando relações em quantidades mensuráveis

buscando regras/leis que governam essa relações

Física é uma Ciência Experimental !

Tem compromisso com a Realidade … mas é só uma descrição da Realidade

Método Científico

Funciona mais ou menos assim ...

1. **observação** : Observa-se um fenômeno que queremos entender

2. **levantamento de hipóteses :** aventamos hipóteses sobre quais as as quantidades observáveis importantes para descrever o fenômeno Eventualmente imaginamos quais as relações entre elas

3. **experimentos** : realizamos experimentos para validar ou não nossas hipóteses

- determinar os fatores essenciais para entender o fenômeno
- determinar as relações principais entre esses fatores

Esse julgamento já envolve um MODELO & CONCEITOS TEÓRICOS

Experimentação não é Empirismo !

Para realizar um experimento precisamos de ter alguma idéia teórica sobre o que queremos medir

(MODELO, MESMO QUE ERRÔNEO !)

Modelos Fenomenológicos

obtidos diretamente dos fenômenos observados encontrando a forma mais simples de descrevê-los

Modelos à partir de Princípios

desenvolvidos a partir de postulados, de princípios ou de idéias de simetria

Física é Sempre uma Aproximação

Até que ponto queremos entender/explicar um fenômeno?

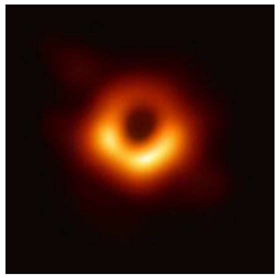
Com que precisão ? O que determina essa precisão ?

Modelo Teórico

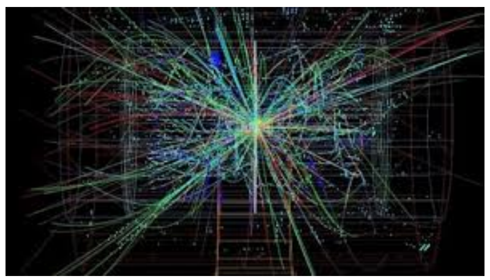
"uma livre criação da mente humana" (A.Einstein)

É importante desenvolver a capacidade de abstração !!

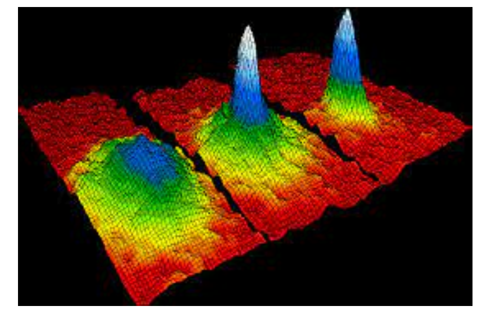
Idéia Básica



grande número de fenômenos



↕ Matemática



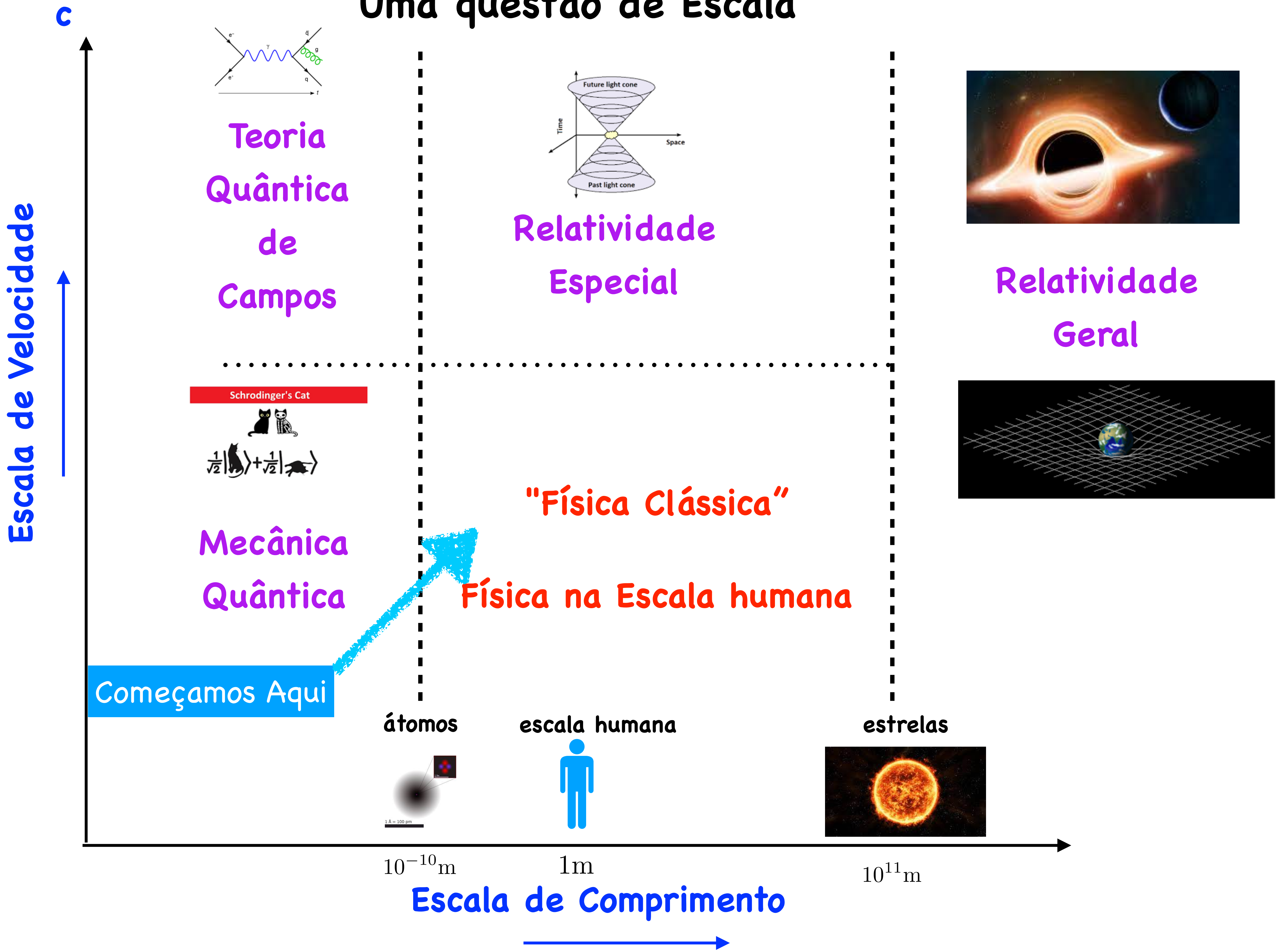
(poucas) leis simples

Modelos Físicos são (em geral):

preditivos : a partir das "leis básicas" podemos prever novos fenômenos que podem ser testados experimentalmente

limitados : todas teorias físicas são aproximações aplicáveis em um certo domínio de validade

Uma questão de Escala



Física na Escala Humana

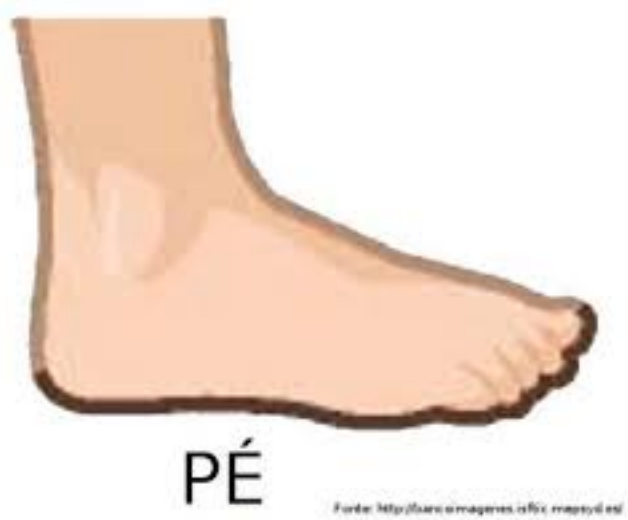
introduzir conceitos

desenvolver ferramentas

desenvolver a capacidade de abstração

Sobre a Medida em Física

Quando medimos um observável físico tentamos atribuir a ele um valor (número real) da forma mais precisa possível usando um aparelho de medida



É necessário ter um sistema (arbitrário) de Unidades de medida

- Sistema Internacional (SI) [derivado do sistema métrico introduzido na Revolução Francesa]

Sobre a Medida em Física

- Dependem do Referencial do Observador
- Podem ter incertezas teóricas intrínsecas
- Têm incertezas devido à precisão do aparelho de medida

algarismos significativos são importantes para indicar isso

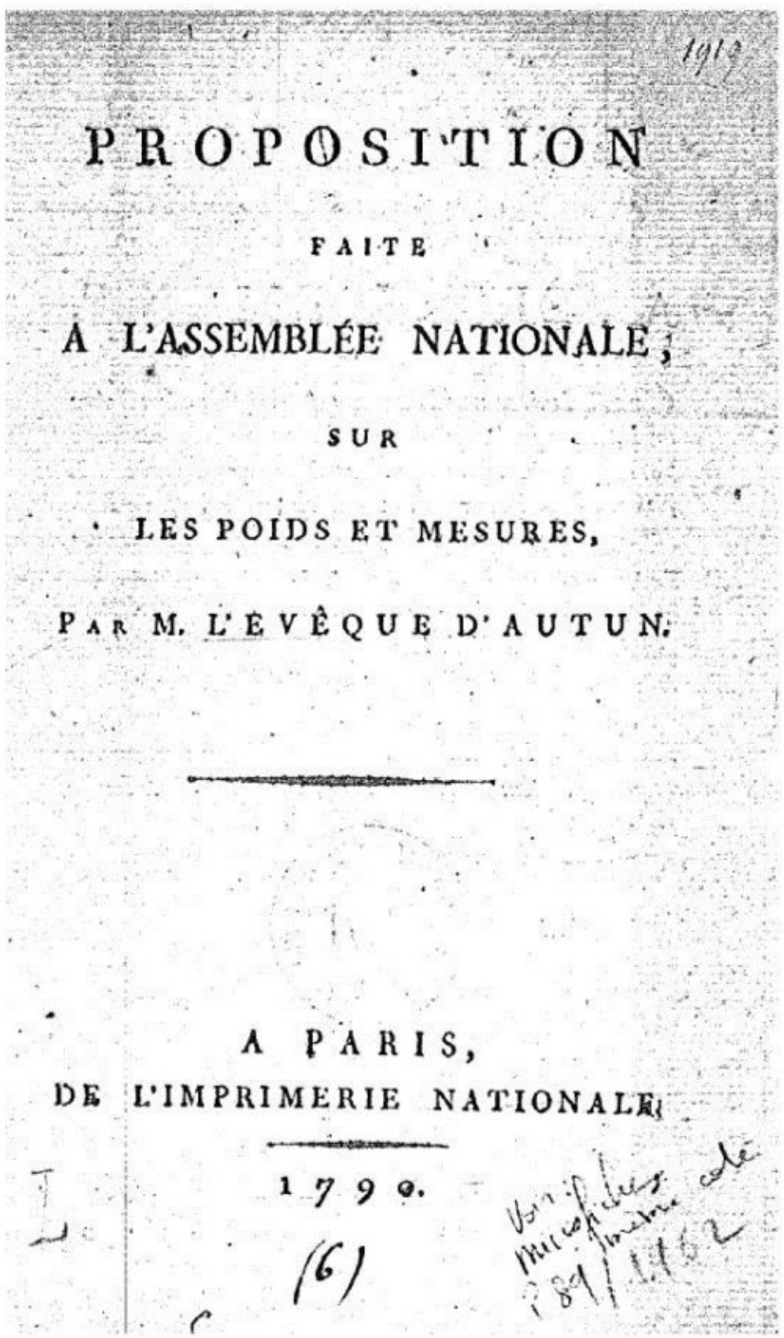
Se escrevemos

2 significativos $10 \text{ m} \longrightarrow (10 \pm 0,5) \text{ m}$

3 significativos $10,0 \text{ m} \longrightarrow (10,0 \pm 0,05) \text{ m}$

4 significativos $10,00 \text{ m} \longrightarrow (10,00 \pm 0,005) \text{ m}$

Sistema Internacional (SI)



PROPOSITION

FAITE

À L'ASSEMBLÉE NATIONALE,

SUR

LES POIDS ET MESURES,

PAR M. L'ÉVÊQUE D'AUTUN.

A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE NATIONALE.

1790.

A Revolução Francesa cria o sistema métrico que é a base do Sistema Internacional

Idéia : encontrar na Natureza uma medida Universal

A tous les temps, à tous les peuples

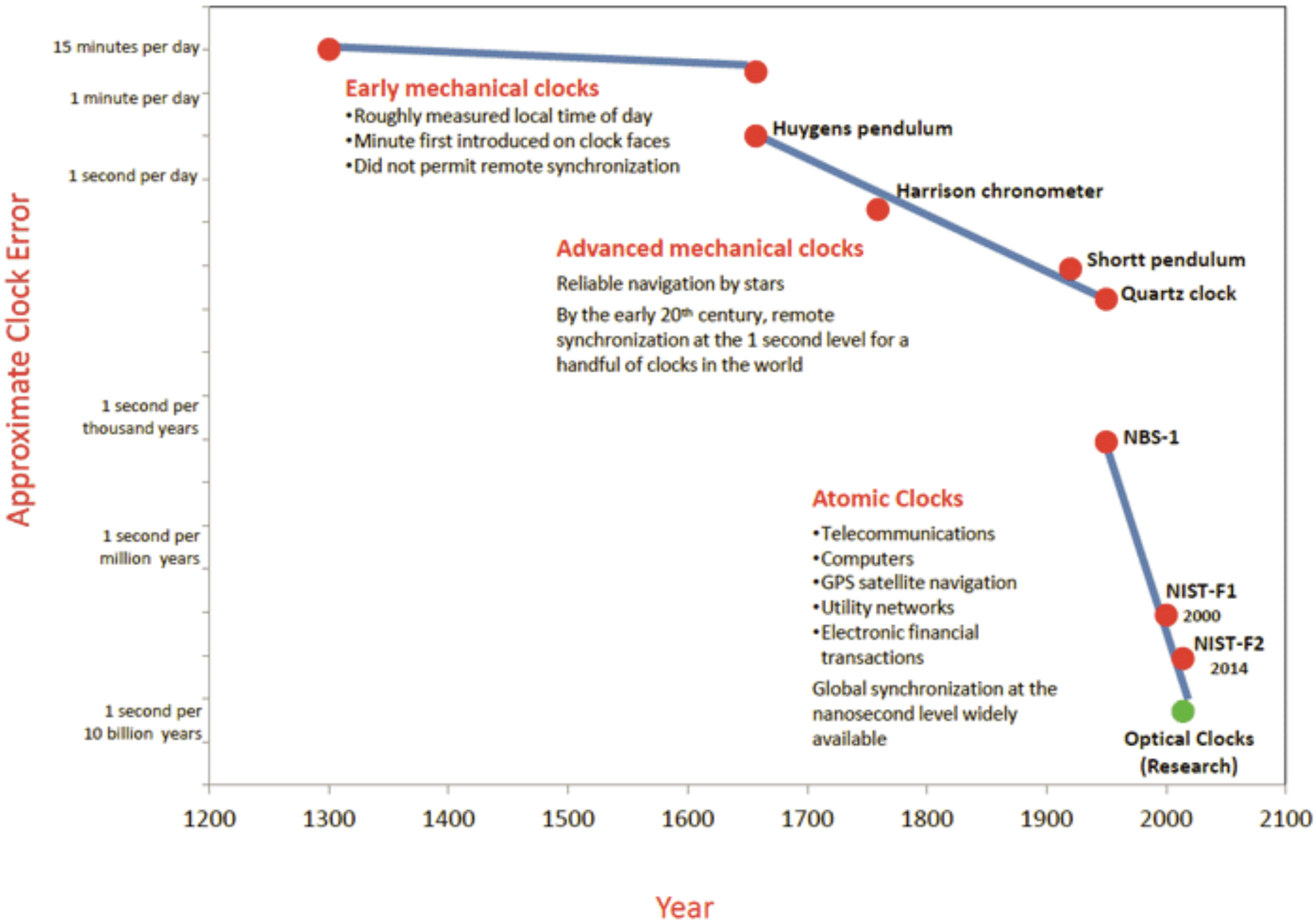
Sistema Internacional (SI)

Unidades de Base

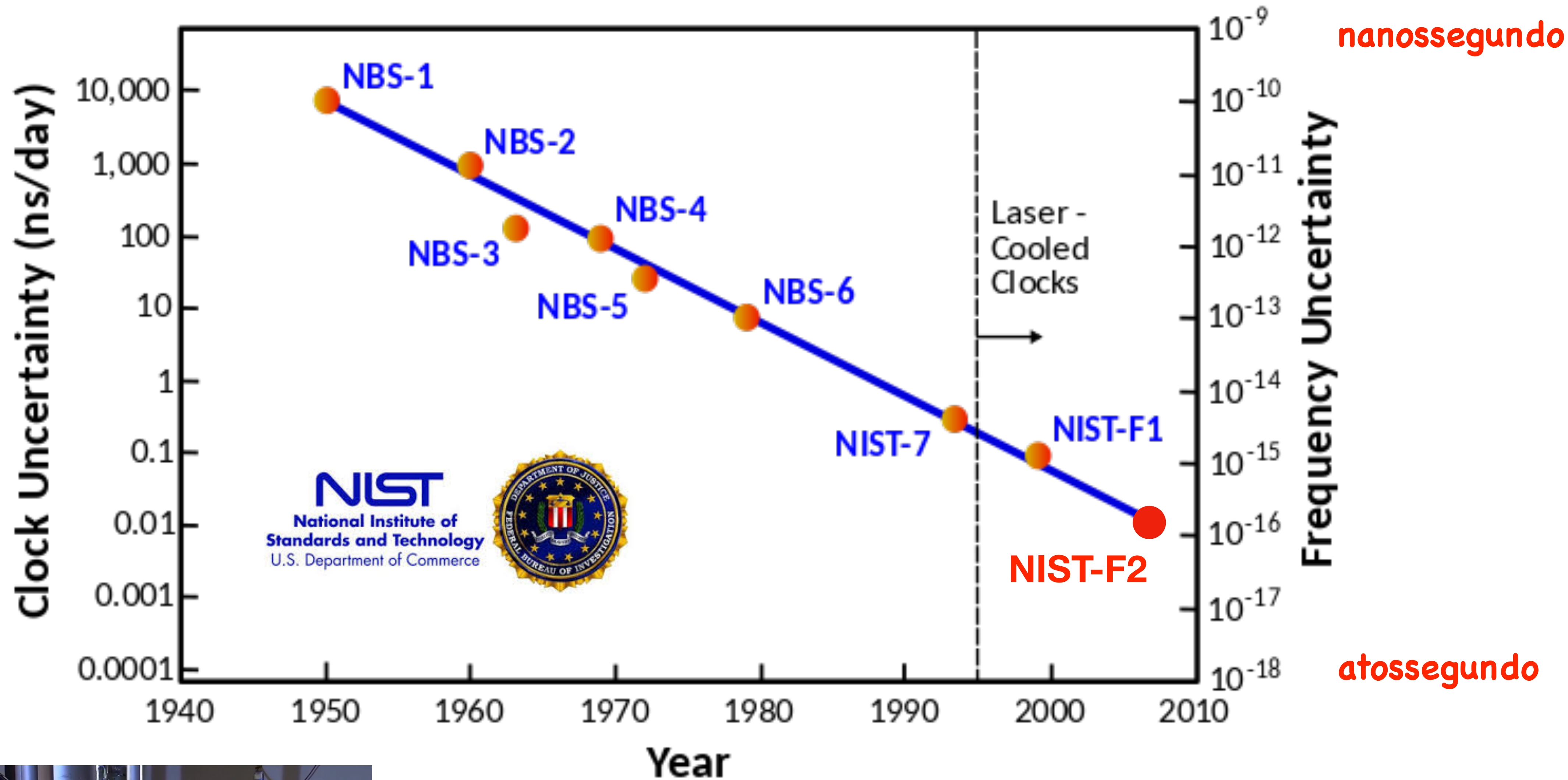
Unidade de Tempo = segundo (s)
Unidade de Comprimento = metro (m)
Unidade de Massa = quilograma (kg)

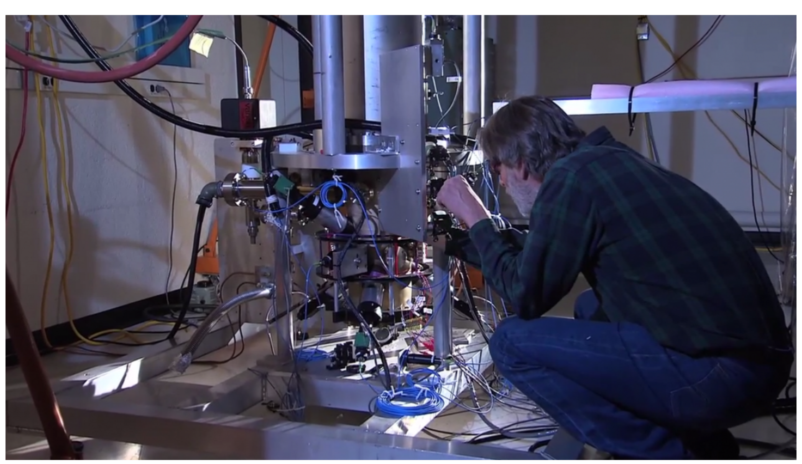
Unidade de Corrente = ampere (A)
Unidade de Temperatura = kelvin (K)
Unidade de Intensidade Luminosa = candela (cd)
Quantidade de Substância = mole (mol)

Medidas de Tempo [T]



Medidas de Tempo [T]





Featured in Physics | Editors' Suggestion

$^{27}Al^{+}$ Quantum-Logic Clock with a Systematic Uncertainty below 10^{-18}

S. M. Brewer, J.-S. Chen, A. M. Hankin, E. R. Clements, C. W. Chou, D. J. Wineland, D. B. Hume, and D. R. Leibrandt

Phys. Rev. Lett. **123**, 033201 – Published 15 July 2019

Medidas de Tempo [T]

Em 1967 a International Committee on Weights and Measures (Comitê Internacional de Pesos e Medidas) definiu o segundo como sendo

a duração de 9.192.631.770 períodos de radiação correspondente à transição entre os 2 níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de Césio 133

10^{-3}	milessegundo	(ms)
10^{-6}	microssegundo	(μs)
10^{-9}	nanossegundo	(ns)
10^{-12}	picossegundo	(ps)
10^{-15}	fentossegundo	(fs)
10^{-18}	atossegundo	(as)

Medidas de Comprimento [L]

o metro foi originalmente definido como 1/10.000.000 do arco do Equador ao Polo Norte ao longo do meridiano passando por Paris

Medidas de Comprimento [L]

Em 1983 na Conférence Générale des Poids et Mèsures (Conferência Geral de Pesos e Medidas) definiu a velocidade da luz como

$$c \equiv 299.792.458 \text{ m/s}$$

o valor mais preciso de medida dentro da incerteza experimental

Isso permitiu uma nova e mais precisa definição do metro

o metro é a distância que a luz percorre no vácuo durante o intervalo de tempo de 1/299.792.458 s

Medidas de Comprimento [L]

Distâncias astronômicas são muitas vezes descritas em termos de

anos-luz

$$1\,\text{ano} = (365,25\,\text{dias})\left(\frac{24\,\text{h}}{1\,\text{dia}}\right)\left(\frac{60\,\text{min}}{1\,\text{h}}\right)\left(\frac{60\,\text{s}}{1\,\text{min}}\right) = 3,15576\times10^{7}\,\text{s}$$

$$\sim \pi \times 10^{7}\,\text{s}$$

$$1\,\text{ano}-\text{luz} = \left(\frac{299.792.458\,\text{m}}{1\,\text{s}}\right)\left(\frac{31.557.600\,\text{s}}{1\,\text{ano}}\right)(1\,\text{ano}) = 9,461\times10^{15}\,\text{m}$$

a distância da Terra à estrela mais próxima (fora o Sol!) Alfa-Centauro é cerca de 3 anos-luz

a distância média Terra-Sol define o que chamamos de Unidade Astronômica (UA)

1 UA = 1,50 x 10^{11} m (≈ 8 minutos-luz)

Medidas de Massa [M]

A unidade de massa, o quilograma (kg), por muito tempo foi a única unidade de base do Sistema Internacional que ainda era definida em termos de um artefato físico

desde 1879

cilindro de 39 mm de altura
39 mm de diâmetro
feito de uma liga de
90% platina+ 10% irídio

o Protótipo Internacional do Quilograma Padrão

Bureau Internacional de Pesos e Medidas - Sèvres, França

— perdeu 50 microgramas desde que foi criado —

Mas isso mudou no dia 20 de maio de 2019 !

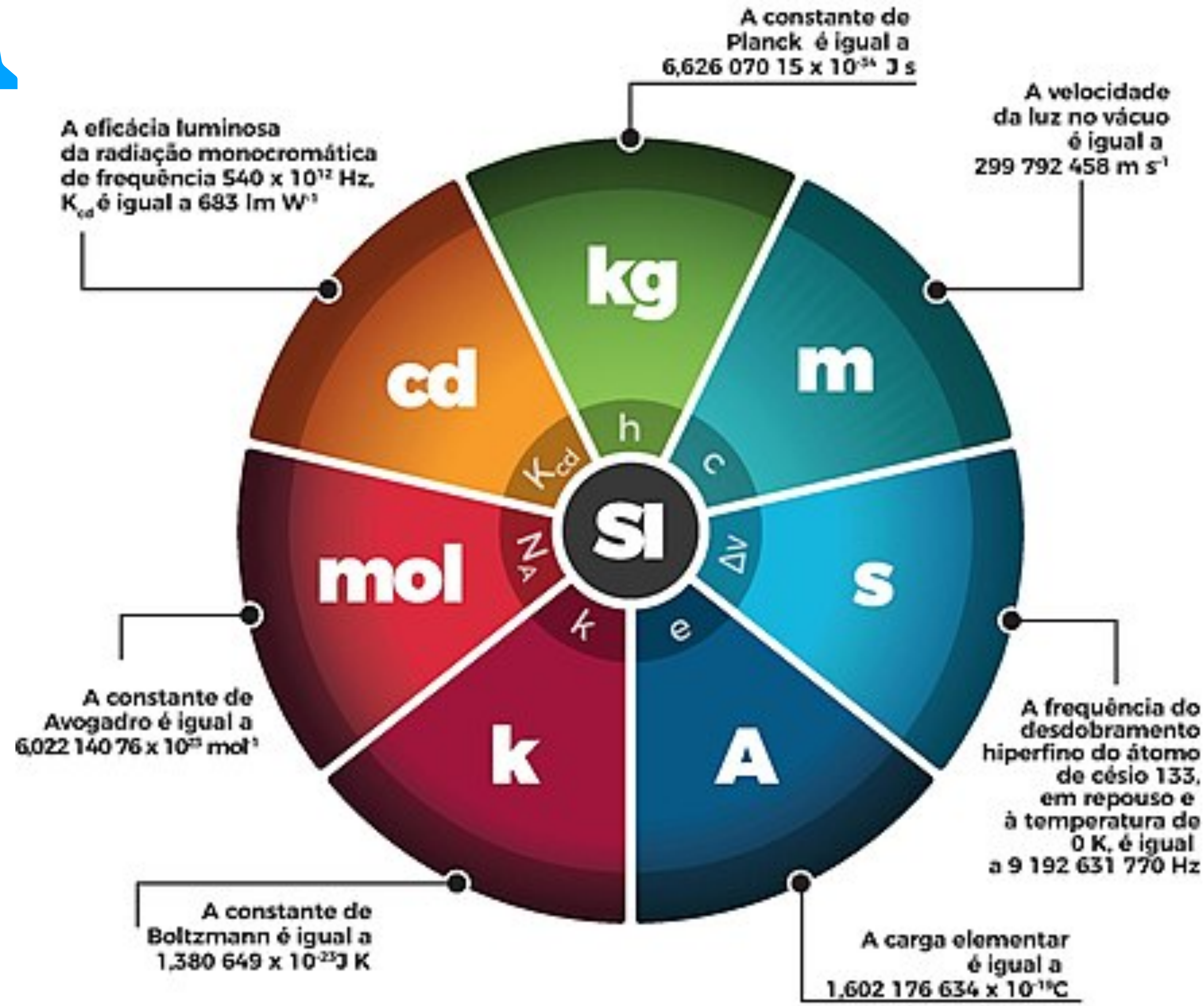
Medidas de Massa [M]

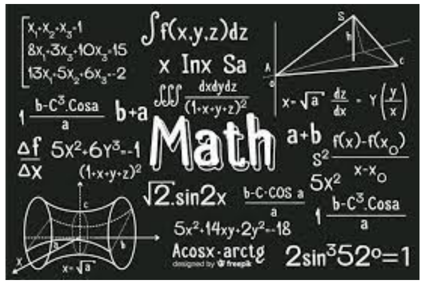
Em 2018 na Conférence Générale des Poids et Mesures (Conferência Geral de Pesos e Medidas) decidiu que o quilograma seria definido a partir da chamada constante de Planck h = 6,62607015 x 10^{-34} J s [kg m^2/s]

energia mecânica
=
energia elétrica

Balança de Kibble (NIST)

Sistema Internacional (SI)





Sobre a Matemática em Física

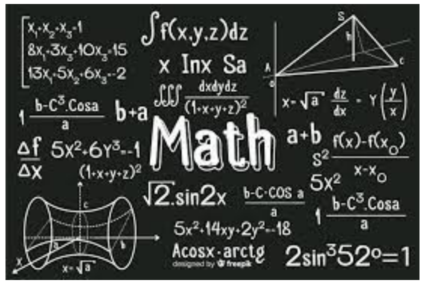
A matemática é a linguagem da Física

Ela permite entre outras coisas :

- Realizar estimativas de ordem de grandeza
- Usar análise dimensional com técnica de modelagem
- Equacionar relações complexas entre quantidades Físicas e suas taxas de variações (é o que chamamos de Equações Diferenciais)

Vamos encontrar nas próximas aulas vários exemplos dessas aplicações

Hoje vamos discutir 2 aplicações importantes



Problemas de Fermi

(Estimativas & Ordens de Grandeza)

A primeira habilidade matemática que aprendemos foi contar

Mas o que ocorre quando tempos um número tão grande de objetos que a contagem exata seria impossível ?

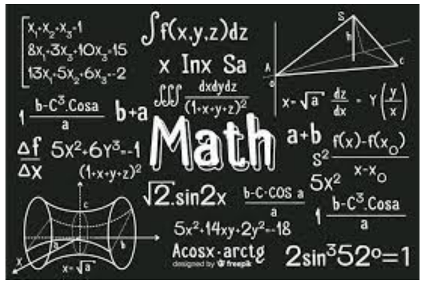
Quantos átomos temos no Universo?

Quantos prótons temos na Terra?

Podemos estimar esses números …

Ex: Podemos estimar o número de grãos de areia em um balde de areia

Esperamos que esse número seja muito grande mas finito



Problemas de Fermi

(Estimativas & Ordens de Grandeza)

Essa é uma idéia que se aplica também a grandezas que tem dimensão (como massa, comprimento, tempo etc.) e que podem ser difíceis de medir exatamente e queremos ter uma noção do seu valor

Podemos por alguma razão, por exemplo, querer estimar

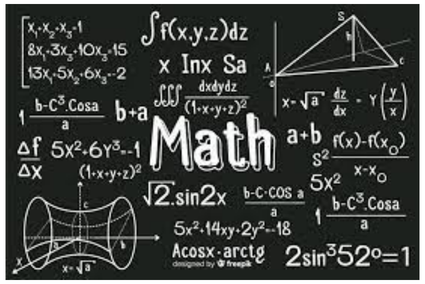
a massa de ar em uma sala

o comprimento total de fios telefônicos no Brasil

o custo para o pais do tempo que se perde em filas ou com burocracia

o tempo que passamos dormindo em nossas vidas

o número de elétrons em uma estrela



Problemas de Fermi

(Estimativas & Ordens de Grandeza)

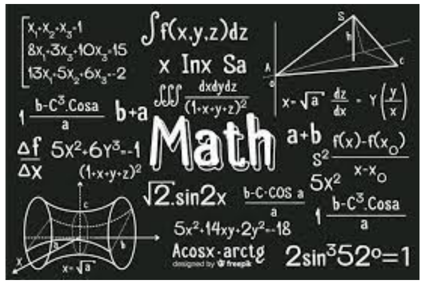
A primeira coisa é escolher um sistema de unidades e estimar esse número com respeito esse padrão

Muitas dessas quantidades podem não ter um valor exato, mas devem estar dentro de uma certa faixa de valores

Quando fazemos estimativas procuramos encontrar um valor razoável, perto da média dos valores possíveis

Esses tipos de estimativas são conhecidas em Física pelo nome de "Problemas de Fermi" ou back of the envelope calculations

A habilidade de fazer boas estimativas melhora com a prática e também depende das informações/conhecimento que você possui a priori



Problemas de Fermi

(Estimativas & Ordens de Grandeza)

Dois princípios podem servir de guia:

(1) identificar um conjunto de quantidades que podem ser estimadas ou calculadas

(2) estabelecer uma aproximação ou uma relação exata entre essas quantidades e as quantidades que você quer estimar

Quanto fazemos estimativas usamos o que sabemos

Pessoas diferentes estão mais familiarizadas com coisas diferentes

Existem várias formas de fazer estimativas que levam a resultados razoavelmente precisos: Use a criatividade e a imaginação !

EXEMPLO: Qual a massa total dos Oceanos da Terra?

$$M_{\rm oceanos} = \rho_{\rm H_2O}\, V_{\rm oceanos}$$

Informação

mar

$$\rho_{\rm H_2O} \approx 1 \ {\rm g/cm^3}$$

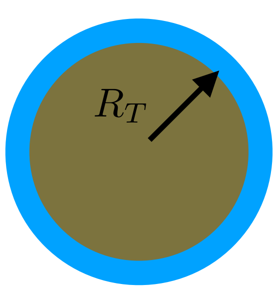
a densidade da água salgada é um pouco maior vai depender sa salinidade, da temperatura etc.

mas isso importa? vai mudar a ordem de grandeza?

precisamos estimar o volume dos oceanos

Modelo

Terra coberta por uma camada de água com uma certa profundidade



$$V = 4\pi\, R_T^2\, d$$ profundidade média

$$V_{\rm oceanos} \approx 0,75 \times 4\pi\, R_T^2\, d$$ correção

EXEMPLO: Qual a massa total dos Oceanos da Terra?

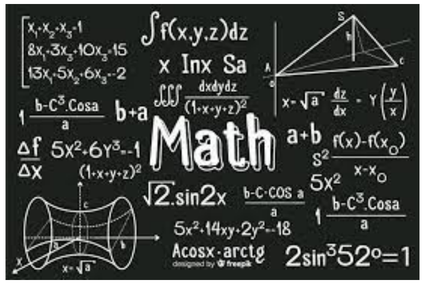
$$V_{\text{oceanos}} \approx 0,75 \times 4\pi \; R_T^2 \; d$$

estimativa $\quad d \approx 1 \text{ km} \qquad R_T \approx 6000 \text{ km}$

$$M_{\text{oceanos}} \approx \left(\frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3}\right)\left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}}\right)\left(\frac{10^5 \text{ cm}}{1 \text{ km}}\right)^3 \frac{3}{4} 4\pi \, (6 \times 10^3 \text{ km})^2 (1\text{km})$$

$$\approx 4 \times 10^{20} \text{ kg}$$

Essa é uma boa estimativa ?



Análise Dimensional

(Buckingham Pi-theorem)

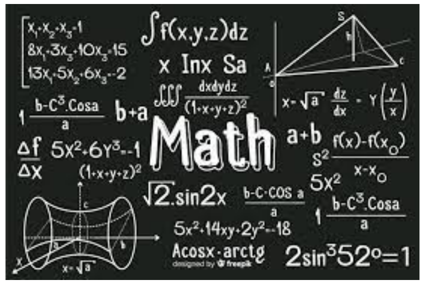
Vocês já encontram análise dimensional para checar a consistência dos dois lados de uma expressão. Aqui vamos ver como usar análise dimensional para resolver problemas ou inferir alguma informação útil sobre a solução que procuramos

Qual a ideia básica ?

As leis da Física não dependem da escolha (arbitraria) das unidades de medida

Essa escolha é frequentemente ditada pela escala dos fenômenos físicos que estamos considerando: não é fundamental !

[Symmetries and Differential Equations, G. W. Bluman & S. Kumei]



Análise Dimensional

(Buckingham Pi-theorem)

Modelagem de um Fenômeno Físico

Primeiro Passo : identificar as grandezas relevantes para entender o fenômeno

Segundo Passo : encontrar as relações entre essas grandezas

Exemplo: Considere um pêndulo simples

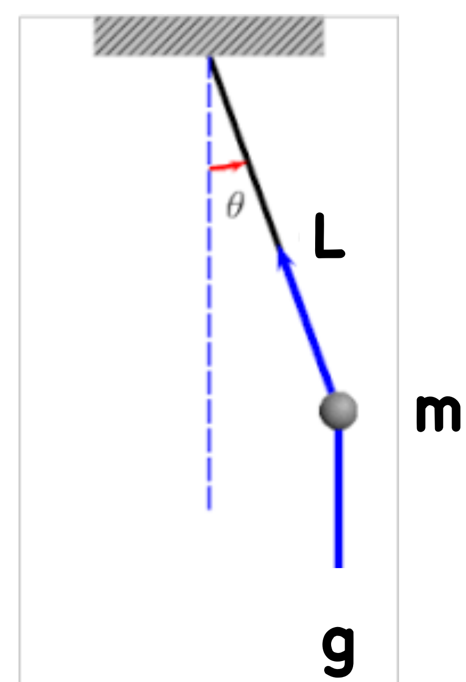
Como o período (tempo para completar um ciclo de oscilação) depende dessas quantidades ?

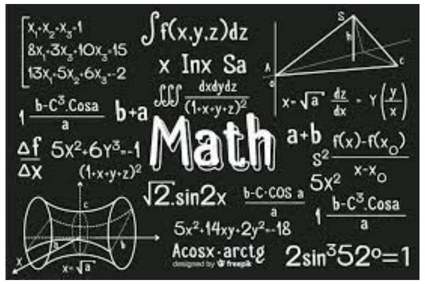
m = massa do pêndulo

L = comprimento do pêndulo

g = aceleração da gravidade

θ = ângulo de abertura inicial





Análise Dimensional

(Buckingham Pi-theorem)

Há outras grandezas relevantes? Não é possível ter certeza absoluta sobre isso. Mas podemos verificar se essas grandezas são suficientes ! Caso não sejam precisamos pensar mais e entender o que está faltando ...

$$\tau = f(m, L, g, \theta)$$

constante adimensional

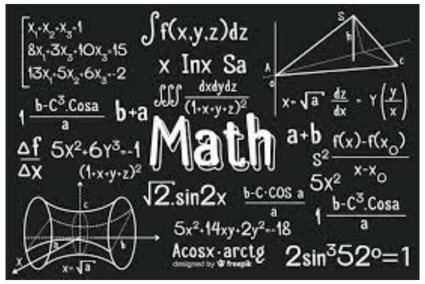
$$\tau = \boxed{C}\, L^{\alpha}\, m^{\beta}\, g^{\gamma}$$

$$[\tau] = T \qquad [C] = 1$$

$$[m] = M$$

$$[L] = L \qquad [g] = LT^{-2}$$

em termos das dimensões básicas L, M, T



Análise Dimensional

(Buckingham Pi-theorem)

Há outras grandezas relevantes? Não é possível ter certeza absoluta sobre isso. Mas podemos verificar se essas grandezas são suficientes ! Caso não sejam precisamos pensar mais e entender o que está faltando …

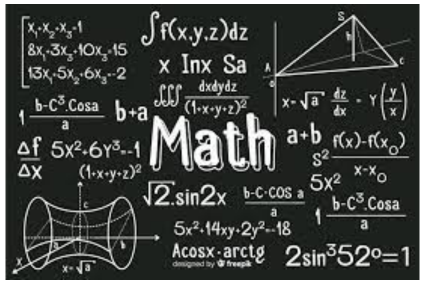
$$\tau = f(m, L, g, \theta)$$

constante adimensional

$$\tau = \boxed{C}\, L^{\alpha}\, m^{\beta}\, g^{\gamma}$$

$$[\tau] = \underline{T} = [C][L]^{\alpha}[m]^{\beta}[g]^{\gamma} = \underline{L^{\alpha} M^{\beta} L^{\gamma} T^{-2\gamma}}$$

$$0 = \alpha + \gamma$$
$$0 = \beta \qquad 1 = -2\gamma \qquad \Longrightarrow \qquad \alpha = -\gamma = \frac{1}{2} \qquad \beta = 0$$



Análise Dimensional

(Buckingham Pi-theorem)

Há outras grandezas relevantes? Não é possível ter certeza absoluta sobre isso. Mas podemos verificar se essas grandezas são suficientes ! Caso não sejam precisamos pensar mais e entender o que está faltando ...

$$\tau = f(m, L, g, \theta)$$

constante adimensional

$$\tau = \boxed{C}\, L^{\alpha}\, m^{\beta}\, g^{\gamma}$$

$$\alpha = -\gamma = \frac{1}{2}$$

$$\beta = 0$$

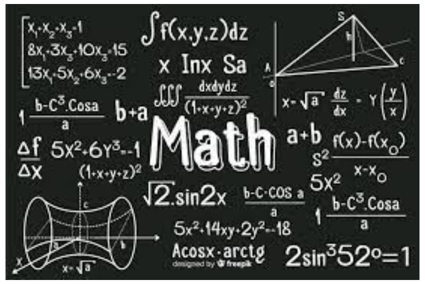
como

adimensional pode ou não aparecer

$$\tau = C\sqrt{\frac{L}{g}}$$

2π

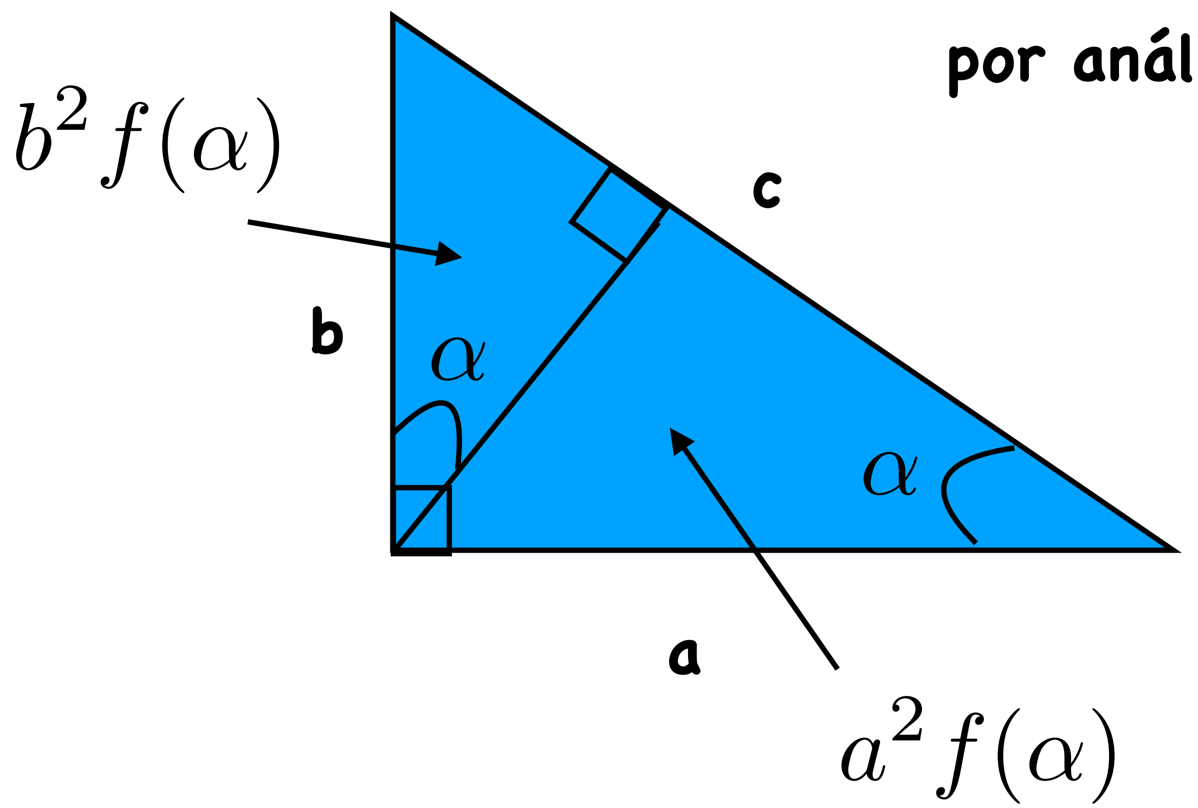
(2ª Lei de Newton)



Análise Dimensional

(Buckingham Pi-theorem)

Exemplo: Demonstração do Teorema de Pitágoras



por análise dimensional a área do triângulo só pode ser

$$f(\alpha)c^2$$

$$c^2 f(\alpha) = a^2 f(\alpha) + b^2 f(\alpha)$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$